

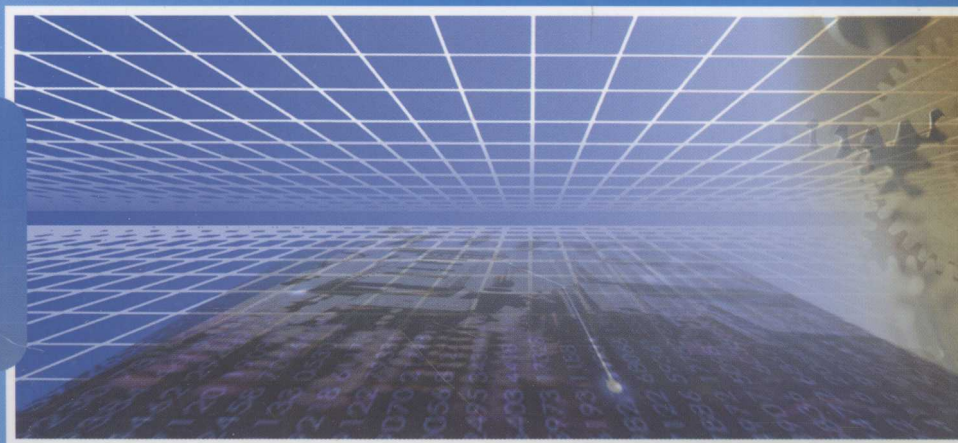


D-K-YT023-0D

空军航空机务系统教材

航空装备故障诊断学

张凤鸣 惠晓滨 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

V241
1009



NUAA2010056960

V241
1009-1

D-K-YT023-0D

空军航空机务系统教材

航空装备故障诊断学

张凤鸣 惠晓滨 主编



国防工业出版社

· 北京 ·

2010056960

内 容 简 介

本书以航空装备故障诊断为主线,系统地阐述了航空装备故障诊断的理论、方法和技术,并对其发展趋势进行了展望。重点对基于故障树、贝叶斯网络、模糊理论、粗糙集理论、人工神经网络、案例推理和专家系统的故障诊断方法和技术进行了全面系统介绍。本书在编写过程中注意了理论的完整性,并提供了大量故障诊断方法的应用案例,以贴近航空装备故障诊断实践。

本书注重理论联系实际,可作为高等院校相关专业研究生、本科生教材,也适用于航空装备科研与生产单位的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

航空装备故障诊断学 / 张凤鸣,惠晓滨主编. —北京:国防工业出版社,2010.6

(空军航空机务系统教材)

ISBN 978 - 7 - 118 - 06734 - 7

I. ①航... II. ①张...②惠... III. ①航空器-设备-故障诊断 IV. ①V241.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 089447 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 21¼ 字数 509 千字

2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 53.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

总 序

发生在世纪之交的几场局部战争表明,脱胎于 20 世纪工业文明的机械化战争正在被迅猛发展的信息文明催生的信息化战争所取代。信息化战争的一个显著特点,就是知识和技术密集,战争的成败越来越取决于各类高技术、高层次人才的质量和数量,以及人与武器的最佳配合。因此,作为人才培养基础工作的教材建设,就显得格外重要和十分紧迫。为了加快推进中国特色军事变革,贯彻执行军队人才战略工程规划,培养造就高素质新型航空机务人才,空军从 2003 年开始实施了航空机务系统教材体系工程。

实施航空机务系统教材体系工程是空军航空装备事业继往开来的大事,它是空军装备建设的一个重要组成部分,是航空装备保障人才培养的一个重要方面,也是体现空军航空装备技术保障水平的一个重要标志。两年来,空军航空机务系统近千名专家、教授和广大干部、教员积极参与教材编修工作,付出了艰辛的劳动,部分教材已经印发使用,效果显著。实践证明,实施教材体系工程,对于提高空军航空机务人才的现代科学文化水平和综合素质,进而提升航空机务保障力和战斗力,必将发挥重要作用和产生深远影响,是一项具有战略意义的工程。

空军航空机务系统教材体系工程,以邓小平理论和“三个代表”的重要思想为指导,以新时期军事战备方针为依据,以培养高素质新型航空机务人才为目标,着眼空军向攻防兼备型转变和航空装备发展需要,按照整体对应、系统配套、紧贴实际、适应发展,突出重点,解决急需的思路构建了一个较为完整的教材体系。教材体系的结构由部队、院校、训练机构教育训练教材三部分组成,分为航空机务军官教育训练教材和航空机务士兵教育训练教材两个系列十六个类别的教材组成。规划教材按照新编、修编、再版等不同方式组织编修。新编和修编的教材,充实了新技术、新装备的内容,吸收了近年来航空维修理论研究的新成果,对高技术战争条件下航空机务保障的特点和规律进行了有益探索,院校的专业训练教材与国家人才培养规格接轨并具有鲜明的军事特色,部队训练教材与总参颁布的《空军军事训练与考核大纲》配套,能够适应不同层次、不同专业航空机务人员的教育训练需要,教材的系统性、先进性、科学性、针对性和实践性与原有教材相比有了明显提高。

此次大规模教材编修工作,系统整理总结了空军航空机务事业创业 50 多年来的宝贵经验,将诸多专家、教授、骨干的学识见解和实践经验总结继承下来,优化了航空

机务保障教材体系,为装备保障人员提供了一套系统、全面的教科书,满足了人才培养对教材的急需。全航空机务系统一定要认真学习新教材,使其真正发挥对航空机务工作的指导作用。同时,教材建设又是一项学术性很强的工作,教材反映的学术理论内容是随实践的发展而发展的。当前我军建设正处在一个跨越式发展的历史关键时期,航空装备的飞速发展和空军作战样式的深刻变化,使航空机务人才培养呈现出许多新特点,给航空机务系统教材建设带来许多新问题。因此,必须十分关注航空装备的发展和航空机务教育训练的改革创新,不断发展和完善具有时代特征和我军特色的航空机务系统教材体系,为航空机务人才建设提供知识信息和开发智力资源。

魏 钢

二〇〇五年十二月

空军航空机务系统教材体系工程编委会

主 任 魏 钢

副主任 周 迈 毕雁翎 王凤银 袁 强 韩云涛

吴辉建 王洪国 王晓朝 常 远 蔡风震

李绍敏 李瑞迁 张凤鸣 张建华 许志良

委 员 刘千里 陆阿坤 李 明 郇 卫 沙云松

关相春 吴 鸿 朱小军 许家闻 夏利民

陈 涛 谢 军 严利华 高 俊 戴震球

王力军 曾庆阳 王培森 杜元海

空军航空机务系统教材体系工程总编审组

组 长 刘桂茂

副组长 刘千里 郇 卫 张凤鸣

成 员 孙海涛 陈廷楠 周志刚 杨 军 陈德煌

韩跃敏 谢先觉 高 虹 彭家荣 富 强

郭汉堂 呼万丰 童止戈 张 弘

空军航空机务系统教材体系工程 管理专业编审组

组 长 韩跃敏

成 员 王端民 崔全会 张星魁 郭宏刚 李异平
白晓峰 朱 飞

前 言

随着科学技术的飞速发展,航空装备的结构越来越复杂,功能越来越完善,一体化和智能程度也越来越高。相应地,影响航空装备系统运行的因素也急剧增加,使其产生故障或失效的可能性越来越大,并且故障也呈现出日趋复杂化的趋势。因此,系统地研究航空装备故障的机理、诊断的原理和方法将显得尤为必要。

航空装备故障诊断学是将设备故障诊断技术应用于航空装备领域而形成的一门新的交叉性学科,它以现代可靠性理论、失效理论、信息论、系统论和控制论为理论基础,以现代诊断仪器设备和计算机为技术手段,是在装备快速发展的推动下产生的。当前,航空装备故障诊断学尚处于初期发展阶段,关于它的内涵和外延,至今还没有形成统一的观点。因此,本书在内容的安排上,考虑到既要适于教学,又要适当反映航空装备故障诊断的最新理论、方法和技术,以便通过本书学习,读者既可以系统全面地掌握其概貌和基本理论,又可以掌握最新的诊断方法和未来的发展趋势。

本书分为4篇,共14章,内容涵盖故障诊断基本理论、基本方法以及故障诊断的应用实践和发展展望,并重点阐述了基于故障树分析、贝叶斯网络、模糊理论、粗糙集理论、人工神经网络、案例推理和专家系统的故障诊断方法。编写中既注意了航空装备故障诊断理论和方法的系统性,又理论联系实际,引入了大量诊断方法的应用案例,力求达到较好的系统性、科学性和针对性。

本书由张凤鸣主编,第1章由张凤鸣、毛红保编写,第2章由张凤鸣、惠晓滨编写,第3章由万明、郭勇编写,第4章由惠晓滨、王晓明编写,第5章由王晓明、廖博编写,第6章由许磊、周漩编写,第7章由许磊、张平编写,第8章由张亮、黄莺编写,第9章由毛红保、刘东编写,第10章由周长飞、祝晓鲁编写,第11章由胡金海、张育编写,第12章由姜蒯峰、徐显亮编写,第13章由褚文奎、田松编写,第14章由吕慧刚、惠晓滨编写,全书由张凤鸣、惠晓滨负责统稿,许建虹、何乃强、杨骥、李响、吴娉娉等参加了本书的校对工作。

本书在编写过程中,得到了空军装备部外场部多位领导的帮助和指导,得到了空军装备部机关各部门的大力支持,特此致谢。

航空装备故障诊断学是一门综合性很强的学科,期望在有限的篇幅中把它所涉

及的各个方面都阐述得十分详尽是不现实的,同时,它也是一门实践性很强的学科,因此,本书只对常见航空装备故障诊断理论和方法进行介绍,并不涵盖航空装备故障诊断实践中所涉及到的所有技术。另外,限于编著人员水平,难免有不足及疏漏之处,诚请读者指正。

编 者

2010 年 4 月

目 录

第1篇 原理篇

第1章 绪论	2
1.1 航空装备故障诊断的研究与实践	2
1.1.1 航空装备故障诊断的本质	2
1.1.2 航空装备故障诊断的发展阶段	3
1.1.3 航空装备故障诊断的现状与发展趋势	5
1.2 航空装备故障诊断学概述	6
1.2.1 航空装备故障诊断学的定义	6
1.2.2 航空装备故障诊断学的研究目的及意义	7
1.2.3 航空装备故障诊断学的主要研究内容	8
第2章 故障与故障诊断	10
2.1 航空装备失效和故障的概念	10
2.1.1 航空装备失效的概念	10
2.1.2 航空装备故障的概念	11
2.2 航空装备常见失效与故障模式	12
2.2.1 航空机械设备失效与故障的常见模式	12
2.2.2 航空电子元器件失效与故障的常见模式	14
2.3 航空装备失效分析	16
2.3.1 失效分析的目的和任务	16
2.3.2 失效分析的主要工作内容	17
2.3.3 机械零件和机械系统的失效分析方法	17
2.3.4 航空装备失效分析的基本程序	20
2.4 航空装备故障诊断的基本原理	22
2.4.1 故障诊断的一般流程	23
2.4.2 故障诊断的常用方法	24
2.4.3 航空装备故障诊断系统	27
第3章 故障诊断信息处理	30
3.1 故障诊断中的信息及分类	30
3.1.1 基本概念	30
3.1.2 故障信息的分类	33
3.2 故障诊断中信息处理的一般过程	34

3.2.1	信息的获取	34
3.2.2	信息的传输	35
3.2.3	信息的处理	36
3.3	故障诊断信息的获取	36
3.3.1	装备状态信息的获取	36
3.3.2	故障诊断知识的获取	37
3.4	故障诊断中信息的预处理	38
3.4.1	采集环节的预处理	38
3.4.2	传输环节的预处理	39
3.5	故障诊断中信息的处理	44
3.5.1	测量信号分类	44
3.5.2	测试数据处理方法的分类	45

第2篇 方法篇

第4章	基于故障树分析的故障诊断	48
4.1	故障树分析的基本内容	48
4.1.1	故障树分析的起源	48
4.1.2	故障树分析的基本概念	48
4.1.3	故障树分析的步骤和建树规则	52
4.2	故障树的定性分析	53
4.2.1	故障树定性分析概述	53
4.2.2	故障树的数学描述	54
4.2.3	最小割集算法	54
4.3	故障树的定量分析	60
4.3.1	故障树定量分析的内容	60
4.3.2	故障树顶事件概率计算	60
4.3.3	故障树重要度分析	61
4.4	航空装备故障树分析算例和系统开发实践	62
4.4.1	基于故障树分析的航空装备故障诊断算例	62
4.4.2	基于故障树分析的航空装备故障诊断系统开发实践	65
第5章	基于贝叶斯网络的故障诊断	70
5.1	贝叶斯网络的概率论基础	70
5.1.1	贝叶斯理论	71
5.1.2	贝叶斯网络	72
5.2	贝叶斯网络推理	75
5.2.1	精确推理	75
5.2.2	近似推理	76
5.3	贝叶斯网络学习	77

5.3.1	参数学习	77
5.3.2	结构学习	80
5.4	贝叶斯网络在装备故障诊断中的应用	82
第6章	基于模糊理论的故障诊断	86
6.1	模糊诊断理论基础	86
6.1.1	模糊集合及其运算	86
6.1.2	模糊集合与经典集合的联系	88
6.1.3	隶属函数	88
6.1.4	模糊关系和模糊关系矩阵	90
6.1.5	模糊度及其度量	92
6.2	航空装备的模糊逻辑诊断	94
6.2.1	航空装备故障诊断中的模糊性	94
6.2.2	模糊逻辑诊断模型	95
6.2.3	模糊诊断信息的获取	96
6.2.4	模糊逻辑故障诊断方法	100
6.2.5	航空装备模糊逻辑诊断实例	102
6.3	航空装备的模糊聚类诊断	104
6.3.1	模糊聚类	104
6.3.2	模糊聚类诊断基本思想	105
6.3.3	基于模糊等价关系的模糊聚类诊断方法	105
6.3.4	模糊 C -均值聚类诊断方法	108
6.3.5	航空装备模糊聚类诊断实例	110
第7章	基于粗糙集理论的故障诊断	112
7.1	粗糙集基本概念	112
7.1.1	知识与知识表达系统	112
7.1.2	不可分辨关系	113
7.1.3	粗糙集与近似	114
7.1.4	知识约简与核	116
7.1.5	知识的依赖性与属性重要性	117
7.1.6	区分矩阵与区分函数	118
7.2	基于粗糙集理论的智能故障诊断	118
7.2.1	数据预处理	119
7.2.2	属性约简	123
7.2.3	值约简	128
7.3	航空装备的粗糙集诊断案例	130
第8章	基于人工神经网络的故障诊断	133
8.1	人工神经网络的基本原理	133
8.1.1	人工神经元模型	133
8.1.2	人工神经网络的构成	133

8.1.3	人工神经网络的学习	134
8.2	基于人工神经网络的故障诊断原理	136
8.2.1	模式识别的故障诊断神经网络	136
8.2.2	系统辨识的故障诊断神经网络	137
8.2.3	知识处理的故障诊断神经网络	138
8.3	基于人工神经网络的故障诊断模型设计	139
8.4	基于 BP 神经网络的故障诊断方法	140
8.4.1	BP 神经网络结构及其学习算法	140
8.4.2	BP 神经网络的改进算法	142
8.4.3	BP 神经网络的结构设计	143
8.4.4	基于 BP 神经网络的故障诊断方法	144
8.4.5	在飞机火控系统故障诊断中的应用	144
8.5	基于 SOM 神经网络的故障诊断方法	147
8.5.1	SOM 神经网络结构	147
8.5.2	SOM 网络的学习算法	148
8.5.3	基于 SOM 神经网络的故障诊断方法	149
8.5.4	在航空发动机故障诊断中的应用	149
8.6	其他典型的神经网络故障诊断模型	152
8.6.1	集成神经网络	152
8.6.2	模糊神经网络	153
8.6.3	小波神经网络	154
第 9 章	基于案例的推理的故障诊断	155
9.1	CBR 概述	155
9.1.1	CBR 的起源及发展	155
9.1.2	CBR 的基本思想	156
9.1.3	CBR 与 RBR 的比较	158
9.1.4	CBR 的应用领域	159
9.2	CBR 的关键步骤	159
9.2.1	案例的表示和存储	159
9.2.2	案例的检索策略	162
9.2.3	案例的相似性匹配	164
9.2.4	案例的适配	168
9.2.5	案例的学习	169
9.3	航空装备故障诊断 CBR 系统	170
9.3.1	基于层次分类模型的案例库组织	170
9.3.2	故障案例的检索和匹配	171
9.3.3	基于专家评价的案例学习方式	172
9.3.4	系统实现	173
第 10 章	基于专家系统的故障诊断	177

10.1	专家系统的基本概念	177
10.1.1	专家系统的定义	177
10.1.2	专家系统的要素	177
10.2	专家系统的推理机制	178
10.2.1	推理方式及其分类	179
10.2.2	推理的控制策略	181
10.2.3	模式匹配	184
10.2.4	冲突消解策略	186
10.3	专家系统中的知识库	187
10.4	航空装备故障诊断专家系统案例	189

第3篇 实践篇

第11章	发动机状态监控与故障诊断	194
11.1	航空发动机简介	194
11.2	发动机状态监控与故障诊断概述	196
11.2.1	发动机的状态和故障	196
11.2.2	状态监控与故障诊断	198
11.2.3	状态监控与故障诊断的作用	200
11.3	发动机状态监控与故障诊断的技术和方法	203
11.3.1	参数监控与诊断	203
11.3.2	振动监控与诊断	209
11.3.3	油液监控与诊断	221
11.3.4	无损检测技术	240
11.4	发动机状态监控系统	262
第12章	航空电子设备故障诊断	266
12.1	航空电子系统简介	266
12.2	航空电子设备故障诊断概述	267
12.2.1	航空电子设备故障诊断意义与作用	267
12.2.2	航空电子设备故障的类型、诊断目的和要求	268
12.2.3	航空电子设备故障诊断的困难所在	269
12.3	航空电子设备故障诊断技术	269
12.3.1	数字电路故障诊断的方法与进展	270
12.3.2	模拟电路故障诊断的方法与进展	272
12.4	基于故障树结构的某型光电雷达电子设备故障诊断系统	273
12.4.1	光电雷达组成及功能	274
12.4.2	电子设备的组成及功能	274
12.4.3	电子设备诊断系统硬件组成	275
12.4.4	电子设备性能检测、故障树结构分析及故障诊断	276

12.4.5	压—码转换电路板故障树结构分析	280
12.4.6	匹配电路板故障树结构分析	281
12.5	基于信息融合的航空电子设备故障诊断	282
12.5.1	信息融合的定义	282
12.5.2	信息融合的基本原理	283
12.5.3	信息融合与故障诊断	284
12.5.4	基于信息融合的光电雷达电子部件故障诊断	288
12.6	模糊理论在航空电子设备故障诊断中的应用	292
12.6.1	故障可能性和可能性理论	293
12.6.2	可能性理论在雷达接收机故障诊断中的应用	293
12.7	基于补偿神经网络的航空电子设备故障诊断	295
12.7.1	构成自适应模糊推理机	295
12.7.2	补偿模糊神经网络的学习步骤	298
12.7.3	利用补偿神经网络模糊推理机进行故障诊断	299

第4篇 发展篇

第13章	嵌入式故障诊断发展动态与展望	302
13.1	嵌入式故障诊断概述	302
13.1.1	嵌入式故障诊断概念	302
13.1.2	嵌入式故障诊断模式	303
13.2	嵌入式故障诊断在航空装备中的发展动态	306
13.2.1	国内发展动态	306
13.2.2	国外发展动态	308
13.3	嵌入式故障诊断展望	310
第14章	远程故障诊断发展动态与展望	313
14.1	远程故障诊断技术概述	313
14.1.1	远程故障诊断技术产生	313
14.1.2	系统组成及体系结构	314
14.1.3	远程故障诊断技术在航空装备中的应用	316
14.2	远程故障诊断技术发展动态	319
14.2.1	工业领域的发展与应用	319
14.2.2	军事领域的发展与应用	320
14.3	远程故障诊断技术展望	320
14.3.1	技术发展要求	320
14.3.2	系统发展方向	322
参考文献		325

第 1 篇

原 理 篇

- 第 1 章 绪论
- 第 2 章 故障与故障诊断
- 第 3 章 故障诊断信息处理

第1章 绪 论

随着高新技术在航空装备中的广泛应用,装备的综合化、系统化、信息化程度越来越高。一方面提高了装备的技术性能,增强了作战能力;另一方面,由于复杂程度和单位容积所容纳的元器件数量越来越多,影响装备系统运行的因素骤增,产生故障或失效的可能性越来越大,并且故障的出现也越来越复杂。一个部件的故障往往会引起链式反应,导致整个系统不能正常运行乃至瘫痪。

现代空战战斗具有准备时间短、战斗节奏快的特点,如果不能快速有效地排除航空装备的故障,并迅速恢复其作战能力,就无法完成航空装备在作战中所担负的复杂多样的任务要求。

研究航空装备故障诊断的理论与应用,对于保证航空装备的可用度、保持航空兵部队的战斗力至关重要。本章从航空装备的概念及其使用特点出发,依次介绍了航空装备故障诊断的主要内容、发展阶段、现状与趋势,进而提出了航空装备故障诊断学的概念,建立了航空装备故障诊断学的概念体系和研究基础。

1.1 航空装备故障诊断的研究与实践

伴随着航空装备的出现,装备故障也随之产生,从而引发了航空装备故障诊断问题;装备系统化、复杂化和信息化程度越来越高,迫使相应的故障诊断方法和手段不断更新;现代战争的高强度、快节奏,进一步对高效、准确的航空装备故障诊断提出了迫切需要。因此,航空装备故障诊断的研究和实践是随着装备本身的更新换代和诊断技术的进步而发展变化的一个动态过程。

1.1.1 航空装备故障诊断的本质

航空装备故障诊断包括“诊”与“断”两个方面。“诊”是指通过各种检测和监测手段获取装备信息,采用相应的测量、分析和鉴别方法,判别装备所属状态。“断”是指经过分析与判断,指出装备是否发生故障,如果是,进一步判别故障特性、故障模式、故障类别、故障部位等,为维修提供依据;或者在故障未发生之前,提出可能发生的故障预报,便于尽早采取措施,避免发生故障。从系统分析的观点出发,航空装备故障诊断就是通过测取装备的信息来识别装备的状态,信息测取是手段,状态识别是目的。更进一步讲,要准确把握航空装备故障诊断的本质,认识到它是识别现状与预测未来的统一。

(1) 识别现状。所谓现状的识别是指对正使用装备当前状态的判断,判别它是正常运行还是异常运行,一旦运行失常,那就是装备发生了故障,工程技术中故障的定义就是指设备运行功能的失常。发现装备有了故障,就需要进一步来判断故障的性质和原因,这相当于医学中的疾病确诊,可采用与医疗诊断相似的方法,由局部推测整体和由现象判断本质。例如,可以对减速机的润滑油进行抽样分析来判别减速机是否正常,也可以从减速机的振动和噪声信息